

YIELD BAHAN BAKAR ALTERNATIF DARI OPTIMASI PIROLISIS SAMPAH PLASTIK POLYPROPYLENE

La Ode Mohammad Firman¹, Eka Maulana¹, Gompar Panjaitan¹

¹Program Studi Magister Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila, DKI Jakarta, Indonesia

ABSTRAK

Sampah plastik polypropylene yang diperoses secara pirolisis merupakan proses dekomposisi senyawa organik yang terdapat dalam plastik melalui proses pemanasan dengan sedikit atau tanpa keikutsertaan oksigen. Senyawa hidrokarbon rantai panjang diubah menjadi rantai pendek. Suhu rata-rata plastik menjadi bahan bakar minyak 120 oC sampai 135oC dioptimasi dengan reaktor semi batch dan kondensor type vertical dimana umpan 1,000 gram menghasilkan minyak 782 ml dan konsumsi bahan bakar 0.284 kg sampai 0.3 kg tanpa pemanasan awal dan 0.15 kg sampai 0.18 kg dengan pemanasan awal. Kadar oktan 67.3 sampai 78.6 untuk hasil minyak yang dicapai. Yield proses pirolisis dipengaruhi: Jenis plastik, kebersihan plastik dan area plastik yang dimasukkan kedalam reaktor, efek suhu dan laju pemanasan.

Kata kunci : Pirolisis, Plastic polypropylene, Yield

ABSTRACT

Polypropylene plastic waste processed by pyrolysis is a decomposition process of organic compounds contained in plastic through a heating process with little or no oxygen participation. Long chain hydrocarbon compounds are converted into short chains. The average temperature of plastic into fuel oil 120°C to 135°C was optimized with semi batch reactors and vertical type condensers where the 1,000 gram feed produced 782 ml oil and fuel consumption from 0.284 kgs to 0.3 kgs without preheating and 0.15 kg to 0.18 kg by heating early. The octane level is 67.3 to 78.6 for the oil yield achieved. Yield of the pyrolysis process is affected: The type of plastic, the clean plastic and area of the plastic that is inserted into the reactor, the effect of temperature and the rate of heating.

Keywords: Pyrolysis, Plastic polypropylene, Yield

I. PENDAHULUAN

Sampah plastik adalah sampah yang paling banyak dihasilkan oleh manusia karena pada umumnya orang yang menggunakan plastik untuk keperluannya sehari-hari oleh perorangan, toko, maupun perusahaan sekaliber dunia. Berdasarkan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) menilai persoalan sampah sangat meresahkan. Indonesia bahkan masuk dalam katagori kedua di dunia sebagai penghasil sampah plastik ke Laut setelah Tiongkok. Hal itu berkaitan dengan data dari KLHK yang menyebut plastik hasil dari 100 toko atau Asosiasi Pengusaha Ritel Indonesia (APRINDO) pada kurun waktu satu tahun saja, sudah mencapai 10,95 juta lembar sampah kantong plastik. Limbah plastik mempunyai potensi sumber ekonomi sebagai bahan kimia dan energi. Berbagai penemuan produk dengan mempergunakan bahan plastik pada saat ini. Sebagai hasil dari meningkatnya tingkat konsumsi bahan-bahan plastik dalam jumlah besar limbah terbuang ke lingkungan. Catalytic cracking adalah proses pengubah limbah plastik menjadi produk hidrokarbon cair berharga yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi untuk berbagai keperluan seperti pembangkit listrik dan kendaraan, gas hasil sampingan yang diperoleh dalam proses digunakan untuk pembangkit listrik. Crude Oil (Minyak mentah) merupakan sumber utama dari plastik dan

sebagian besar bahan kimia. Pada 100 juta ton plastik diproduksi setiap tahun di seluruh dunia, 25 juta ton dibuang ke alam. Dengan membuang jumlah banyak limbah plastik, maka menyianiyakan energi dalam bentuk minyak mentah dalam membuat plastik. Energi hilang dapat dibangkitkan kembali menggunakan proses Pirolisis [3].

Lembaga Penelitian Energi dan Sumber Daya, Inggris dalam jurnalnya "Peningkatan Yield Minyak dan Wax dari Feedstock Daur Ulang Sampah Plastik dengan metode Pirolisis Plastik PP dan LDPE bahwa: Parameter kunci keberhasilan proses yang mengendalikan hasil dan komposisi produk pada proses pirolisis meliputi laju pemanasan dan suhu pirolisa. Panasnya dipasok oleh pemanasan tidak langsung seperti: Tingkat pemanasan sangat lambat ditambah dengan suhu maksimum akhir yang maksimal memaksimalkan hasil. Tingkat pemanasan berkisar antara 20°C-100°C / menit dan suhu maksimum 600°C memberikan perkiraan distribusi minyak yang setara premium dan kerosin. Tingkat pemanasan sangat tinggi sekitar 100°C -1000°C/s pada suhu di bawah 650°C dan dengan pendinginan cepat Menyebabkan pembentukan cairan terutama produk, disebut pirolisa cepat atau kilat. Pada tingkat pemanasan tinggi dan suhu tinggi, produk minyak segera turun [4]. Merujuk uraian diatas dan atas dasar ini, peneliti sangat tertarik melakukan penelitian tentang pengolahan limbah plastik dan mengambil judul

“Yield Bahan Bakar Alternatif Dari Optimasi Pirolisis Sampah Plastik Polypropylene”. Dengan adanya pengolahan limbah plastik menjadi bahan bakar alternatif ini, diinginkan dapat meminimalisir dampak yang diakibatkan dari sampah-sampah plastik, sehingga dapat bermanfaat bagi kita. Selain itu bahan bakar alternatif juga bersifat ramah lingkungan sehingga dapat mengurangi polusi udara agar terciptanya lingkungan yang sehat dan bebas polusi udara. Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah untuk mendapatkan Angka Oktan 78.6 dan hasil minyak dapat dipergunakan sebagai bahan bakar alternatif.

II. METODE PENELITIAN

II.1. Kerangka Penelitian

Metode penelitian adalah suatu rancangan penelitian yang memberikan arah bagi pelaksanaan penelitian sehingga data yang diperlukan dapat terkumpul. Penelitian merupakan kegiatan yang dilakukan untuk memahami, memecahkan masalah secara ilmiah, sistematis dan logis. Dengan demikian akan didapat data yang lebih objektif.

Kerangka penelitian ini adalah sampah plastik polypropylene memiliki nilai kalor yang sebanding dengan bahan bakar minyak, karena memang dibuat dari senyawa kimia yang sama. Perangkat yang dipergunakan adalah Distilator terdiri dari komponen pengumpan, pirolisa, kondensor, sistim pendinginan kondensor dan tangki penampung minyak. Sampah plastik sebagai bahan masukan, minyak cair sebagai hasil keluaran, dan udara sebagai media pendingin. Destilator ini berperan sebagai sub sistim dalam rangka sistim pengolahan sampah terpadu untuk menghasilkan bahan bakar untuk listrik.

II.2. Tahapan-Tahapan Penelitian

a. Tahapan Persiapan

- Memeriksa dan mempersiapkan kesiapan perangkat dan peralatan,
- Menyiapkan bahan plastic yang akan diolah,
- Mengisi tanki air pendingin kondensor dengan air,
- Menyiapkan jaringan listrik untuk pompa air,
- Menyiapkan peralatan pemanasan.

b. Tahapan Proses

- Menyalakan api untuk pemanasan pirolisa,
- Mengendalikan stabilitas pemanasan,
- Mengamati dan mencatat temperature mulai dari start,
- Kendalikan aliran air pendingin kondensor sesuai kebutuhan dengan mengatur pembukaan kran,
- Aliran air pendingin dengan aliran paksa.

c. Tahapan Pengambilan Data

- Pengambilan data dilakukan setiap menit sejak pemanasan dimulai,
- Pengukuran waktu dengan stopwatch,
- Hasil disajikan dalam bentuk grafik dan pada lampiran data pengujian.
- suplai bahan bakar,
- Matikan pompa air,
- Tunggu sampai minyak tidak menetes dana api pembakaran mati,
- Setelah diyakini aman, tempat pengujian dapat ditinggalkan.

III. HASIL PENELITIAN

III.1. Hasil Pembuatan Minyak Plastik

Sebelum dilakukan proses pirolisis, ada beberapa tahap yang harus dilakukan untuk menghindari terjadinya gagal proses diakibatkan bahan baku tidak bersih, prosedur proses tersebut dapat dilihat pada prosesnya. Prosedur tersebut untuk menghasilkan minyak plastik sesuai dengan yang diharapkan. Hasil dari proses tersebut yaitu yield, dan kadar oktan sesuai sebagai bahan bakar.

- Proses dengan Pengaruh pemotongan bahan tanpa pemanasan awal.
- Proses dengan Pengaruh pemotongan bahan dengan pemanasan awal.

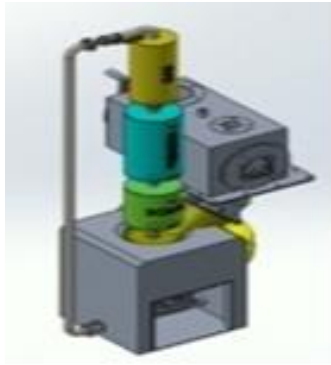
Pada pengujian ini menggunakan tabung LPG 7 kg, setelah proses berkurang 0.284 kg. Pada pengujian minyak mulai menetes pada kondensor I menit ke - 6 suhu 120 °C. Pada pengujian minyak mulai menetes pada kondensor II menit ke- 8 suhu 135 °C. Minyak yang dihasilkan 786 ml. Pada Pengujian tersebut belum memanfaatkan panas yang terbuang sebagai pemanas awal. Pada Pengujian yang memanfaatkan panas terbuang adalah panas yang terbuang pada alat pirolisis dimanfaatkan sebagai pemanas awal. Pemanfaatan tersebut dapat menekan biaya pemakaian bahan bakar dan efisiensi alat semakin. Pemanfaatan panas tersebut dirancang bangun sebagai *pre-heating box* (kotak pemanas awal) gambar dapat dilihat pada gambar lampiran. Kotak pemanas awal dapat diisi dengan 4 (empat) kg plastik *polypropylene*.

Pada pengujian ini menggunakan tabung LPG 7 kg, setelah proses berkurang 0.15 kg. Pada pengujian, minyak mulai menetes pada kondensor I menit ke -4. Pada pengujian, minyak mulai menetes pada kondensor II menit ke- 6. Minyak yang dihasilkan 786 ml. Pemanasan awal yaitu plastik yang telah dipanasin pada kotak heater dimasukkan melalui screw pembawa ke dalam reaktor dan ditutup kembali dan kotak heater tersebut dimasukkan kembali plastik yang telah dicacah sebagai pemanfaat sisa panas pada kotak tersebut yang dialirin sisa panas dari dapur pemanasan reaktor pirolisis berlangsung, minyak menetes lebih cepat

dibandingkan tidak melakukan pemanasan awal, sehingga mengurangi pemakaian bahan bakar gas.

III.2. Desain Tungku Pemanasan

Untuk menghitung dimensi tabung untuk plastik PP tercacah, maka digunakan persamaan sebagai berikut:



Gambar 1 Tungku Pemanasan

$$\rho_{\text{plastik polypropylene}} = 855 \text{ kg/m}^3$$

$$m = 1 \text{ kg}$$

$$V = \frac{m}{\rho}$$

$$= \frac{1 \text{ kg}}{855 \text{ kg/m}^3}$$

$$= 0.0011695 \text{ m}^3$$

$$= 1.1695 \text{ liter}$$

$$V = \frac{1}{4} \pi d^2 \times t$$

$$0.0011695 \text{ m}^3 = \frac{1}{4} \pi 0.22^2 \times t$$

Jika ukuran diameter tungku adalah 22 cm, maka tinggi 9.67 cm maka energy yang dibutuhkan untuk memanaskan plastik pada suhu yang ingin dicapai dihitung dengan mengetahui volume dari plat besi tungku yang dipanaskan.

Besarnya energi yang dibutuhkan untuk memanaskan reaktor hingga suhu 400⁰ C adalah:

$$Q = m \times c_p \times \Delta T$$

$$= 7.750 \times 490 \text{ J/kg} \times (400-30)$$

$$= 1,405,075 \text{ J}$$

$$= 1.4 \times 10^6 \text{ J}$$

Besarnya energi yang dibutuhkan untuk memanaskan plastik PP hingga suhu 260⁰ C adalah:

$$Q = m \times c_{p\text{plastik pp}} \times \Delta T$$

$$= 1 \times 1,030 \times (260-160)$$

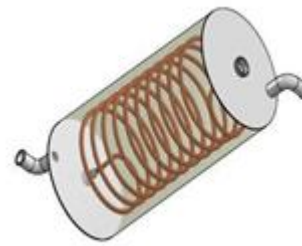
$$= 103,000 \text{ J}$$

$$= 1.03 \times 10^5 \text{ J}$$

III.3. Desain Kondensor

Suhu gas yang melalui kondensor 60⁰ C, suhu air yang masuk kondensor 20⁰ C, suhu permukaan pipa kondensor 30⁰ C. Pipa yang digunakan adalah pipa

tembaga dengan karakteristik berdiameter luar 0.013 m, diameter dalam 0.0115 m dan k 360.5 W/m.⁰ C



Gambar 2 Kondensor

Peristiwa yang terjadi didalam kondensor merupakan peristiwa kondensasi
Suhu film T_f adalah

$$T_f = \frac{60}{30} = 45^0 \text{ C}$$

Perpindahan panas konduksi didalam kondensor

$$q = \frac{\ln \frac{5.715 \times 10^{-3}}{6.35 \times 10^{-3}}}{2 \times \pi \times 360.5} = \frac{6.670}{10^{-5}}$$

$$q = 6.670 \times 10^5$$

III.4. Konveksi bagian luar pipa kondensor

Suhu Film

$$T_f = \frac{30 + 20}{2}$$

$$T_f = 25^0 \text{ C}$$

Pada bagian luar kondensor terjadi konveksi paksa maka:

$$Re = \frac{\mu \times D}{\nu}$$

$$= \frac{0.0022 \times 0.013}{0.00000089}$$

$$= 32,134$$

Maka aliran yang terjadi adalah Turbulen

Aliran yang terjadi di dalam kondensor adalah aliran crossflow pada cylinder maka nilai Nu_{cyl} adalah:

$$Nu_{cyl} = C \cdot Re_d^m \cdot Pr^n$$

$$= C \cdot Re_d^m \cdot Pr^{1/3}$$

$$= 0.683 \cdot 32,134^{0.466} \cdot 6.3^{1/3}$$

$$= 5,971$$

Sehingga nilai dari

$$h_o = 0.591 \frac{5,971}{0.013} = 277.3 \text{ W/m.}^0 \text{ C}$$

Nilai dari overall Heat Transfer Coefficient adalah

$$U_o = \frac{1}{\frac{0.013}{0.0115} \times \frac{1}{66.65} \times \frac{0.013 \ln \frac{0.013}{0.0115}}{2 \times \pi \times 360.5} + \frac{1}{277.3}}$$

$$= 277.29 \text{ W/m}^0 \text{ C}$$

Setelah diperoleh nilai dari *overall heat transfer coefficient* maka dapat ditentukan panjang kondensor yang dibutuhkan untuk mengkondisikan gas hasil pirolisis plastik.

$$\Delta T \text{ LMTD} = \frac{(250-30)-(60-20)}{\ln \frac{(250-30)}{(60-20)}} = 105.58^0 \text{ C}$$

$$A = \frac{59.81}{277.29 \times 105.58}$$

$$= 0.0204 \text{ m}^2$$

Jika diameter luar dari pipa kondensor adalah 0.013 m maka panjang pipa kondensor adalah

$$L = \frac{0.0204}{\frac{0.013}{1.8 \text{ m}}} = 1.8 \text{ m}$$

III.5. Perhitungan Daya Kompor

Untuk mengetahui jumlah energy dari burner yang digunakan untuk melakukan destilasi plastik sesuai dengan suhu yang ingin dicapai, dapat dihitung dengan mengetahui massa gas LPG yang terpakai dan Nilai kalor dari LPG, yaitu sebagai berikut:

Diketahui LHV LPG = 46,110 J/g

Massa yang terpakai (m) = 0.284 kg = 284 g
Lama pemanasan = 35 menit

$$I = \frac{284 \times 46,110}{35} = 374.15 \text{ kJ/menit}$$

III.6. Daya Pompa dan Motor

Pompa yang digunakan untuk mengalirkan air pendingin ke tabung kondensor pada saat proses pengujian alat destilasi menggunakan pompa dengan spesifikasi yaitu:

Pompa Input = 220 v, 2 A

Maka daya pompa yang digunakan dapat dihitung:

$$\begin{aligned} P &= V \times I \\ &= 220 \text{ V} \times 2 \text{ A} \\ &= 440 \text{ watt} \times 35 \text{ menit} \\ &= 440 \text{ watt} \times (0.583 \text{ jam}) \\ &= \mathbf{256.52 \text{ watt}} \\ &= 257 \text{ watt} \times (35 \times 60) \\ &= 539,700 \text{ Joule} \end{aligned}$$

III.7. Efisiensi

III.7.1. Efisiensi Destilat

Untuk mengetahui perbandingan jumlah (kuantitas) minyak yang dihasilkan dari proses destilasi maka dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut:

Effisiensi destilat (%)

$$\eta_{\text{destilat}} = \frac{(\text{Berat basah (kg)}) - (\text{Berat kering (kg)})}{\text{Berat basah (kg)}} \times 100 \%$$

$$= \frac{1,000 \text{ gr} - 214 \text{ gr}}{1,000 \text{ gr}} \times 100 \%$$

$$= \mathbf{78.6 \%}$$

III.7.2. Effisiensi Teknis

Effisiensi teknis alat destilasi untuk mengetahui persen perbandingan energy yang digunakan atau dipakai selama proses destilasi terhadap hasil destilasi

Effisiensi Teknis (%)

$$\eta_{\text{teknis}} = \frac{\text{massa destilat} \times \text{nilai kalor destilat}}{\text{massa gas} \times \text{nilai kalor gas} + \text{daya pompa}}$$

Untuk massa destilat = 765 gr dengan nilai kalor destilat 10,517 kJ/kg

Dengan massa gas = 284 gr (gas LPG yang dipergunakan)

$$\eta_{\text{teknis}} = \frac{765 \text{ gr} \times 10,517.6 \text{ J/gr}}{284 \text{ gr} \times 46,110 \frac{\text{J}}{\text{gr}} + 539,700 \text{ J}}$$

$$= \frac{8,266,833.6 \text{ J}}{13,634,940 \text{ J}} \times 100 \% = \mathbf{60 \%}.$$

Jadi hubungan antara efisiensi destilasi dengan efisiensi teknis menunjukkan bahwa energy yang digunakan pada proses destilasi memiliki persentase lebih banyak dibandingkan energy yang dapat dihasilkan dalam hal ini kaitannya adalah hasil destilasi. Dengan memanfaatkan panas yang terbuang dari ruang reaktor dapat meningkatkan hasil dan bahan bakar yang diperlukan lebih sedikit.

Suhu pemanasan akan mempengaruhi hasil minyak. Hal ini juga dikemukakan didalam penelitian yang dilakukan oleh Sumarni, 2008. Peningkatan hasil minyak destilasi pada suhu pemanasan yang lebih tinggi disebabkan karena titik lebur dari plastik PP yaitu 135⁰ C semakin tinggi suhu pemanasan semakin banyak minyak yang dihasilkan.

Peningkatan nilai kalor minyak hasil pirolisis pada suhu pemanasan yang semakin tinggi dikarenakan pada pemanasan yang tinggi maka akan mengurangi kadar air yang terdapat pada minyak. Sifat minyak yang bersifat volatile mudah menguap juga merupakan faktor penurunan nilai kalor. Laju produksi destilasi minyak sampah plastik jenis PP

$$\begin{aligned} Q &= \frac{w}{t} \\ &= \frac{786}{35} \\ &= 22.46 \text{ gr/menit} \end{aligned}$$

III.8. Pressure Drop

Pressure drop yang terjadi pada adalah sebagai berikut:

Untuk mencari friction factor menggunakan bilangan Reynold

Pressure drop yang terjadi pada unit adalah:

$$p = \frac{2 \times f \times L \times \rho \times V^2}{dti}$$

$$= \frac{2 \times (1.8744) \times (0.8706) \times (959.50) \times (0.00024)^2}{(0.0116)}$$

$$p = 0.015549 \text{ N/m}^2$$

$$p = 1.554 \times 10^{-7} \text{ bar}$$

Pressure drop yang rendah menyebabkan minyak hasil pirolisis keluar dari kondensor lebih lama dan kuantitasnya besar.

III.9. Data hasil pengujian yang diperoleh

Dari hasil pengujian dapat disimpulkan:

- Pemanasan pirolisis mencapai suhu 360 °C,
- Bahan bakar yang digunakan rata-rata 172 gr sampai 284 gr,
- Minyak yang didapat mencapai 78.6 % dari kondensor 1 dan 2,
- Laju produksi destilasi minyak 22.46 gr/menit
- Angka oktan minyak hasil pirolisis mencapai 67,3 sampai 78,6,
- Ukuran plastik diperkecil mempengaruhi hasil, ukuran semakin besar luas permukaan persatuan berat semakin kecil, sehingga proses akan menjadi lambat,
- Waktu pirolisis semakin lama, produk yang dihasilkan yieldnya semakin tinggi,
- Suhu semakin tinggi ketika pemanasan akan mempengaruhi yield, maka suhu yang dianjurkan tidak lebih dari 226°C pada reactor, karena dikhawatirkan minyak akan menguap menjadi gas, karena tujuan utama mendapatkan yield minyak;
- Pressure drop yang rendah menyebabkan minyak hasil pirolisis keluar dari kondensor lebih lama dan kuantitasnya besar.

III.10. Hasil Pengujian LEMIGAS

Pengujian hasil pyrolysis minyak dilakukan di Laboratorium Minyak dan GAS Bumi. Berdasarkan hasil uji LEMIGAS menunjukkan bahwa angka oktan pada hasil percobaan menunjukkan 78.6 dan berat jenis minyak pirolisis adalah 0.7820 g/c sesuai dengan yang diharapkan (data terlampir).

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian kinerja alat pirolisis dengan menggunakan sampah plastik polypropylene:

- Panas yang hilang pada alat dapat dimanfaatkan sebagai pemanas awal untuk mengurangi pemakaian awal bahan bakar,

yaitu berat bahan bakar LPG yang diperlukan dari 0,284 kg menjadi 0,172 kg,

- Plastik polypropylene dapat diolah menjadi bahan bakar minyak dengan metode destilasi vertikal dan hasil minyak setelah pengujian Lembaga yang berkompeten LEMIGAS mencapai angka oktan 78.6,
- Yield proses pirolisis dipengaruhi oleh jenis plastik dan kondisi plastik yang harus bersih,
- Minyak yang didapat mencapai 78.6 % dari kondensor 1 dan 2,
- Laju produksi destilasi minyak 22.46 gr/menit
- Waktu pirolisis semakin lama, produk yang dihasilkan yieldnya semakin tinggi,
- Pressure drop -7bar yang rendah menyebabkan minyak hasil pirolisis keluar dari kondensor lebih lama dan kuantitasnya besar.

DAFTAR PUSTAKA

- Ekky Wahyudi, Zultiniar, dkk., 2016, "Pengolahan Sampah Plastik Polipropilena (PP) Menjadi Bahan Bakar Minyak dengan Metode Perengkahan Katalitik Menggunakan Katalis Sintesis", Vol.11 No.1 Hlm.17, Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan, Pekanbaru;
- Ekky Wahyudi, Zultiniar, dkk., 2015, "Pengolahan Sampah Plastik Polypropylene (PP) menjadi Bahan Bakar Minyak Dengan Metode Perengkahan Katalitik Menggunakan Katalis Zeolit X", Volume 2 No.2, JOM FTEKNIK, Pekanbaru;
- P.T. Williams "Yeld and Composition of Gases and Oils from Recycling of Waste Plastic", 2016;
- Hendra Prasetya, Rudhiyanto, dkk., "Mesin Pengolah Limbah Sampah Plastik Menjadi Bahan Bakar Alternatif, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang;
- Kadir, Mei 2012, "Kajian Pemanfaatan Sampah Plastik Sebagai Sumber Bahan Bakar Cair", Vol.3 No.2, Dinamika Jurnal Ilmiah Teknik Mesin, Kendari;
- Mustofa K.D., Fuad Zainuri, 2014, "Pirolisis Sampah Plastik Hingga Suhu 900°C Sebagai Upaya Menghasilkan Bahan Bakar Ramah Lingkungan", Simposium Nasional RAPI XIII, Jakarta;
- Keane, MA., 2007, "Catalytic Conversion of Waste Plastic : Focus On Waste PVC", Journal Of Chemical Technology And Bioechnology, Vol. 82, Hal. 787-795;
- Melyna, E., 2013, "Perengkahan sampah plastik (HDPE, PP, PS) menjadi precursor bahan bakar dengan variasi perbandingan bahan baku/katalis H-zeolite", Skripsi, Universitas Riau, Pekanbaru;

9. Junya, Masaaki, dkk., 2004, "*Development Of Feedstock Recycling Process For Converting Waste Plastics To Petrochemicals*", IHI Engineering Review , Vol. 37 No. 2;
10. Narayana, V.I. dan Mojeswararao, D., 2012, "*Experimental Study on The Performance of C.I Diesel Engine Using Plastic Pyrolysis Oil Blends with Pure Diesel*", International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT) Vol. 1 Issue 6, Andhrapradesh;
11. Ofoma,I.,2006, "*Catalytic Pirolysis Of Polyolefins*", Publicated, Thesis, Georgia Institute Of Technology, Georgia;
12. Mohana Jeya Valli, G.Gnanavel, dkk, 2012, "*Alternate Fuel From Synthetic Plastic Waste-Review*", Vol 1(3), International Journal Of PharmaceuticalAndChemical Sciences, Indi;
13. Aprian Ramadhan, Munawar, A., (2011), "*Pengolahan Sampah Plastik Menjadi Minyak Menggunakan Proses Pirolisis*", Universitas Pembangunan Nasional "Veteran". Jawa Timur;
14. Budiyanoro, C.,2010,"*Thermoplastik dalam Industri*", Teknik Media, Surakarta
Novita Andriani, Setyawan Porwo H.D., 2009, "*Konversi Plastik*."